

Talajok nedvességtartalmának mérése neutronszóródásos nedvességmérővel

TÖRÖK ISTVÁN

Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet, Budapest

A mezőgazdasági gyakorlatban és kutatásban egyaránt problémát jelentett a talajok nedvességtartalmának gyors helyszíni meghatározása. A meghatározásra több méréstechnikát javasoltak és alkalmaztak, így pl. a tenziométeres meghatározás, a nedvességtartalom meghatározása elektrometriásan, gipszblokkal a nedves talaj dielektromos állandójának mérése útján. Az utóbbi években az izotóptechnika szélesebb körű alkalmazása ezen a téren is újat hozott. A neutronszóródás jelenségét felhasználva több módszert dolgoztak ki talajok nedvességtartalmának mérésére. A neutronok szóródási hatáskeresztmetszete minden izotópra konstans, kivéve a hidrogént. A hidrogénnek az összes atomok közül legnagyobb a szóródási keresztmetszete, így eltérően viselkedik, mivel a neutron energiájának egy részét átveszi. Így minél több a hidrogén atom a közegben, annál gyorsabban veszti el energiájukat a neutronok, felszaporodik a lelassított neutronok mennyisége. Ha tehát a közegbe gyors neutronokat bocsátunk és közben mérjük a lassú neutronokat olyan detektorral, amely csak a lassú neutronokra érzékeny, a műszer a hidrogén atomokon lelassult neutronokat regisztrálja, melyeknek a száma arányos a közeg nedvességtartalmával.

A különböző méréstechnikák gyors neutronok előállításában és a lelassított neutronok detektálásában térnek el. Általában Ra-Be, Po-Be, Pu-Be neutronforrásokat alkalmaznak.

A lassú neutronok detektálására szintén többféle megoldás terjedt el. Szcintillációs detektort, BF_3 -al töltött proporcionális számlálót, vagy GM csövet alkalmaznak ezüst, vagy kadmium lemez borítással, aszerint, hogy a műszer felépítése szempontjából melyik előnyösebb.

A talajok nedvességtartalmának neutronszóródásos módszerrel történő meghatározásával több kutató is foglalkozott, más-más műszert és méréstechnikát alkalmazva, így a mérési eredmények pontosságában meglehetősen nagy eltérések mutatkoznak.

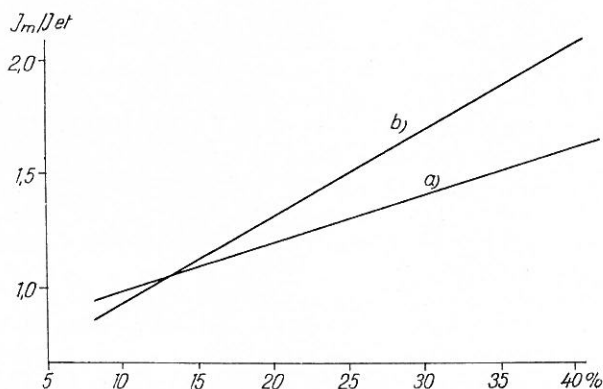
VORISEK [7] Ra-Be forrást és lassú neutronokra érzékeny szcintillációs detektort alkalmazva ± 1 térfogat % pontosságot ért el sorozatmérésekkel. Más kutatók Pu-Be forrást és BF_3 csövet alkalmazva 3 térfogat % pontossággal mértek [1]. Vizsgálva azt, hogy a különböző talajféleségek hogyan befolyásolják a mérés pontosságát, megállapították, hogy a szerves anyagok mennyisége bizonyos határok között lényegesen nem változtatja meg az eredmények pontosságát [3]. Találkozunk olyan adatokkal, mely szerint a neutronszóródásos nedvességmérés pontossága $\pm 5\%$, és egyes esetekben az eltérés 10%-ot is elérhet [5 ; 8]. A nagy eltérést a szerzők a különböző talajok tulaj-

donságaival összefüggő okokra vezetik vissza. Számos tanulmány foglalkozik még talajok, homok nedvességtartalmának meghatározásával neutronszeródásos módszerrel [2, 6, 9].

Anyag és módszer

Méréseinket az MTA Talajtani és Agrokémiai Intézetben készült neutronszeródásos nedvességmérővel végeztük. A műszerhez Pu-Be neutronforrás tartozik, lassú neutronok detektálására GM-cső szolgál, melyet ezüsfólia borít [4].

A kalibrációs méréseket különböző talajtípusokon végeztük, amelyek genetikai típusa, fizikai és kémiai tulajdonságai ismertek voltak. A műszeres vizsgálatokkal párhuzamosan laboratóriumban szárítószekrényes módszerrel mértük a nedvességtartalmat és ezeket az eredményeket használtuk a kalibráláshoz. A szárítószekrényes módszerrel végzett nedvességmeghatározások hibája több párhuzamos mérésből számolva nem haladja meg a $\pm 1\%$ -ot, így a műszeres mérések értékelésénél alapul vettük a laboratóriumi eredményeket a kalibrációs grafikon megszerkesztésénél.



1. ábra

A neutronszeródásos nedvességmérő kalibrációs grafikonja. a) Szikes talaj. b) Nem szikes talaj. Vízszintes tengely: Nedvességtartalom térfogat %-ban

Minden egyes helyen a talajból 10 cm-es szintenként fúró segítségével mintát vettünk, majd a fúrójuk körül kb. 30 cm-es távolságban ugyanilyen szintenként vettünk 3–4 párhuzamos mintát. A műszeres méréseket elvégeztük a 3–4 fúrójukból 10 cm-es szintenként és a mérési eredmények átlaga szolgált a további értékeléshez. Az egyes fúrójukakban végzett mérések csak a statisztikus hibán belül különböztek egymástól.

A mérések megkezdése előtt lemértük a sugárforrás aktivitását, a tartótokban és ezt az értéket I_{et} (etalon) értékének vettük, ezzel a méréssel egyúttal ellenőrizhetjük a mérés megkezdése előtt a műszerünket. Ezután bocsátjuk a mérőlyukba a szondát, és a különböző szintekben mérjük az aktivitást

ezt az értéket I_m (mért) értéknek vesszük. A későbbiekben a különböző nedvességtartalomhoz tartozó I_m/I_{et} értékek felhasználásával szerkesztjük meg a kalibrációs grafikont, amelyben a nedvességtartalmat térfogat %-ban adjuk meg.

Az egyes mérések között ajánlatos 5–6 percet várni, hogy a szondában elhelyezett ezüsfólia, amely a lassú neutronok hatására aktiválódik lecsengjen így a következő mérési pontnál helyes mérési eredményt kapjunk.

Fontos követelmény, hogy a furat átmérője a mérések során azonos legyen a kalibrációnál használt fúrólyuk átmérőjével, a méréseket és a kalibrálást mindig azonos körülmények között végezzük.

A kalibrációs grafikon megszerkesztésénél azt tapasztaltuk, hogy a szikes talajoknál mért I_m/I_{et} értékeknek mindig nagyobb nedvességtartalom felel meg, mint a nem szikes talajoknál.

Későbbiekben több párhuzamos laboratóriumi és műszeres méréssel bebizonyosodott, hogy szikes talajoknál más, a nem szikes talajoknál kapott kalibrációs grafikonnál kisebb iránytangensű egyenes adja meg a helyes kalibrációs grafikont és mérési eredményeket (1. ábra).

Az ugyanazon nedvességtartalmú szikes és nem szikes talajoknál mért I_m/I_{et} értékek közötti különbség 10 tf %-tól kezdve növekvő értéket mutatott és bizonyos nedvességtartalomnál a nem szikes talajok esetében mért összes impulzus 1/4 részénél kevesebbet mérünk. Ez az impulzus veszteség a szikes talaj összetételéből ered.

Az eredmények ismertetése és értékelése

A kalibrációs grafikonok elkészítése után több mint 150 mérést végeztünk párhuzamosan és ugyanezen mintákból elvégeztük a laboratóriumban a nedvességhatározást szárítószekrényes módszerrel. A műszeres mérési eredményekből kiszámítva az I_m/I_{et} értékeket a grafikonról leolvastuk a megfelelő nedvességtartalmat. Az ugyanazon műszeres értékhez tartozó eredmények a különböző időpontokban, különböző helyen végzett méréseknek megfelelő, laboratóriumban meghatározott nedvességtartalmat jelentik (1. táblázat).

A laboratóriumi és műszeres mérések eredményeit összehasonlítva, a laboratóriumi eredményeket alapulvéve képet kapunk a műszeres mérés pontosságáról. Kiszámítottuk a két módszer eredményei közötti eltéréseket, valamint a műszeres mérés érzékenységet, amely 1,2 tf %-nak adódott. A mérési adatok feldolgozása során a legnagyobb eltérés a laboratóriumi és műszeres eredmények között 6%-nak adódott. Az összes mérési adatok 31,5%-ában kaptunk kisebb eltérést mint 1%, 1–3% közötti eltérést a mérési adatok 40%-ában, 3–5% közötti eltérést 18,5%-ban, 5% feletti eltérést az adatok 10%-ában tapasztaltunk.

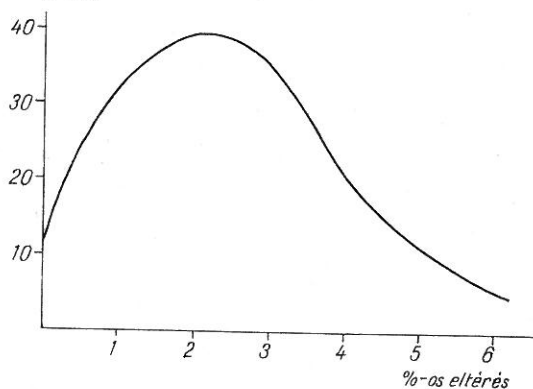
Az összes mérések 71,5%-ban adtak kisebb eltérést, mint 3%. Az eltérések %-os gyakoriságát a nedvesség %-ban megadott eltérések abszolút értékének függvényében ábrázolva (2. ábra) megállapíthatjuk, hogy a legnagyobb valószínűséggel az 1–3% közötti eltérések fordulnak elő. Az átlagos eltérés abszolút értékben 2,4%, tehát a műszer $\pm 2,4\%$ pontossággal adja meg a nedvességtartalmat.

Mindig ugyanazon a helyen végezve a méréseket (öntözésnél állandó kísérletnél) természetesen az átlagos eltérés csökken, mivel a mindig azonos körülmények a hibák csökkenését eredményezik.

1. táblázat
A neutronszóródásos nedvességmérések
műszeres és laboratóriumi eredményeinek
összehasonlítása

(1) Műszer I_m/I_{et} érték	(2) Nedvesség tartalom térfogat %-ban		(3) Eltérés %
	műszeres	száritó- szekrényes	
1,87	35,2	34,2	0,6
1,82	33,5	33,1	0,4
1,90	36,0	36,0	0,0
1,80	33,0	31,4	1,6
1,91	36,0	31,8	4,2
1,63	28,5	34,1	5,6
1,53	25,5	30,0	4,5
1,17	15,5	12,3	3,2
1,17	15,5	13,6	1,9
1,25	17,5	13,4	3,9
1,25	17,5	14,6	2,9
1,30	18,7	15,9	2,8
1,30	18,7	17,0	1,7
1,37	21,0	22,0	1,0
1,37	21,0	22,0	1,0
1,45	23,0	24,1	1,1
1,45	23,0	23,9	0,9
1,50	24,5	26,4	1,9
1,50	24,5	25,2	0,7
1,65	28,5	27,1	1,4
1,65	28,5	31,0	2,5
1,01	10,5	14,0	3,5
1,06	11,5	13,1	2,6
0,97	10,0	12,0	2,0
1,00	11,0	11,5	0,5
1,05	14,0	11,7	2,3
1,17	20,5	18,7	1,8
1,30	27,0	26,8	0,2
1,37	31,0	29,5	1,5
1,93	37,6	36,0	1,6
1,35	20,0	20,2	0,2
1,35	20,0	18,0	2,0
1,57	26,5	29,6	3,1
1,57	26,5	29,0	2,5
1,60	27,2	27,9	0,7
1,60	27,2	29,2	2,0
1,73	31,0	31,6	0,6
1,73	31,0	33,2	2,2
1,18	15,6	14,8	0,8
1,18	15,6	14,3	0,7
1,10	16,0	17,5	1,5
1,10	16,0	17,0	1,0
1,20	21,5	20,8	0,7
1,25	24,5	21,9	2,6
1,32	23,2	23,1	0,1
1,06	14,6	14,2	0,3
1,08	15,5	16,0	0,5
1,16	19,7	20,0	0,3
1,16	19,7	20,2	0,5
1,28	26,0	28,0	2,0
1,30	27,0	26,6	0,4

gyakoriság
%-ban



2. ábra
A százalékos eltérések gyakorisága

2. táblázat

Gammaszóródásos térfogatsúly mérések

(1) Műszer állás Imp/sec	(2) Térfogatsúly g/cm ³	
	műszerrel	laboratóriumban
140	1,45	1,55 1,48
150	1,55	1,46 1,28 1,61 1,48 1,60
152	1,57	1,56 1,46 1,40 1,71
170	1,78	1,52 1,64 1,47 1,32 1,41 1,45
150	1,55	1,60 1,20 1,55 1,75 1,42
145	1,50	
135	1,38	
162	1,68	
132	1,32	
172	1,80	
155	1,62	
142	1,48	

A mérés alapelvéből kiindulva magyarázatot találhatunk a szikes és nem szikes talajok mérésénél tapasztalt jelenségekre. Nem szikes talajok esetében a növekvő nedvességtartalommal növekedik a lelassított, termikus neutronok (n_t) száma. Az n_t érték növekedésével a detektoron elhelyezett Ag lemez egységnyi felületén keletkezett aktív atomok száma és ezzel együtt a mért impulzus növekedik. Szikes talajok esetén a termikus neutronok számának csökkenése áll elő, így az ezüst lemezen kiváltott magreakciók száma csökken, tehát kisebb impulzus számot kapunk. A neutronforrásból kilépő gyors neutronok lelassulnak a szikes talajban lévő víz H-atomjain csak nem érnek el a detektorhoz, mivel közben a talaj nátrium és klór atomjai befogják a termikus neutronok egy részét. Lassú neutronokra a nátrium hatáskeresztmetszete 0,53, a klór pedig 0,13 barn nagyságrendekkel nagyobb, mint a talajban lévő többi elemé, így a szikes talajokban a nátrium tartalom a befolyásoló tényező lehet a neutronok számának csökkenésére.

Gammaszóródásos térfogatsúly meghatározás

A neutronszerződásos nedvességmérő kiegészítő műszere a gammaszerződásos térfogatsúly meghatározó. Az alaplászzer és szonda ugyanaz, mint a nedvességmérőnél, csak a sugárforrás különbözik. Mivel nedvességmérésnél az eredményeket térfogat %-ban kapjuk meg, így hasznos eszköz a térfogatsúly meghatározó, mivel így az eredményeket szükség esetén súly %-ba átszámíthatjuk. A térfogatsúly meghatározó 60 μ CiCo-60 sugárforrással működik, a γ fotonok a talaj részecskéin szerződnek, így több ütközés után visszajutnak a detektorhoz, amely a visszaverődött γ fotonok számát méri, amiből a talaj tömörségére következtethetünk. A tömörség növekedése a szerződ fotonok számának növekedését eredményezi, így a kalibrációs grafikon megszerkesztésével a térfogatsúly meghatározható. A térfogatsúly meghatározásokat a nedvességtartalom méréssel egyidőben végeztük ugyanaból a fúróllyukból és a műszeres mérésekkel párhuzamosan laboratóriumban határoztuk meg a térfogatsúlyt. A mintavétel Vér-féle csővel történt, ezenkívül speciális fúrófejvel ellátott fúróval is végeztünk mintavételt.

A gammaszerződásos méréseket a fúróllyukban 30 cm-es szintenként végeztük, mivel a gamma részecskék 30–50 cm-es körzetből verődnek vissza, így nincs értelme kisebb szintenként mérni. A műszer lassú beállása miatt ajánlatos itt is 3–5 percet várni az egyes mérések között a leolvasás előtt. A mérési eredményeket a 2. táblázat mutatja.

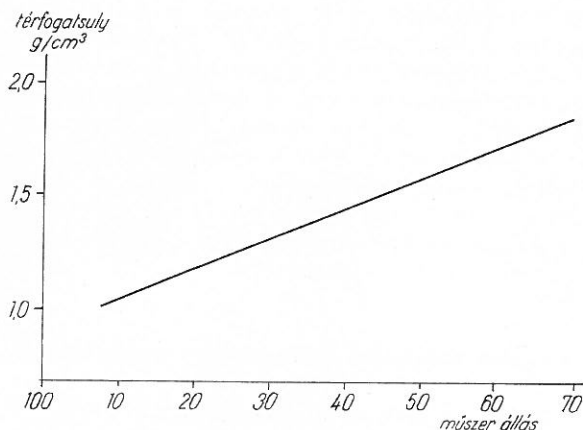
Megfelelő nagy számú mérési eredmények birtokában megszerkesztettük a kalibrációs grafikont, melyet a 3. sz. ábra szemléltet.

A mérési eredmények a laboratóriumi eredményekhez viszonyítva meg lehetőségen nagy szerződást mutattak, mely a térfogatsúly meghatározásánál $\pm 0,2$ g/cm³ értéket jelent. Ez a mérési pontosság tájékoztató méréseknél és egyes esetekben megfelel, de speciális esetekben nagyobb pontosságra kell törekednünk.

A laboratóriumi mérési adatokat 3–4 párhuzamos eredményből kaptuk, a mérési eredmények $\pm 0,05$ g/cm³-nél nagyobb eltérést nem mutattak, így műszeres a mérések értékelésénél alapul szolgáltak.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a neutronszerződásos nedvességmérő a fent megadott pontossággal gyors és mintavétel nélküli helyszíni

mérések elvégzésére alkalmas és könnyen kezelhető, felhasználásának a talajtanban és az öntözéses gazdálkodásban, valamint a mezőgazdaság egyéb területén nagy lehetősége van.



3. ábra

Kalibrációs grafikon a gammaszeródásos térfogatsúly meghatározáshoz. Vízszintes tengely: a műszer állása.

Összefoglalás

1. Méréseket végeztünk a neutronszeródásos talajnedvességmérő és gammaszeródásos térfogatsúly meghatározó műszerrel szikes és nem szikes talajokon. A műszert az MTA Talajtani és Agrokémiai Intézetben fejlesztették ki. Pu-Be neutronforrással és ezüstlemezzel borított GM csöves detektorral működik.

2. A műszeres helyszíni mérésekkel párhuzamosan elvégeztük laboratóriumban a nedvesség meghatározást. A mérési adatok birtokában megszerkesztettük a kalibrációs grafikont, amelynek segítségével a műszeren leolvasott értékekből megállapíthatjuk a talaj nedvességtartalmát térfogatszázalékban.

A mérések során azt tapasztaltuk, hogy szikes talajok esetében a nem szikes talajoknál kimért kalibrációs grafikontól eltérő kalibrációs grafikon adja meg a helyes eredményeket. Az eltérést a szikes talajok nátrium atomjai által befogott lassú neutronok okozzák.

3. A mérési adatokból megállapítást nyert, hogy a műszer $\pm 2,4\%$ pontossággal adja meg a nedvességtartalmat.

4. Méréseket végeztünk gammaszeródásos térfogatsúly meghatározóval. A mérési eredmények meglehetősen nagy szórást mutattak. A műszer tulajdonságai miatt 30 cm-nél kisebb szintekben nem tudunk mérni. A mérési eredményeket $\pm 0,2 g/cm^3$ pontossággal adja meg a műszer.

5. A neutronszeródásos nedvességmérő gyors helyszíni mérések elvégzésére alkalmasnak bizonyult, kezelése egyszerű.

Irodalom

- [1] CHURCH, G. R. & SMITH, D. B.: An instrument for the measurement of hydrogen content of soil and bulk material. *Nuclear Sci. Abstr.* **13**. 11090. 1959.
- [2] COHEN, O. P.: A procedure for calibrating neutron moisture probes in the field. *Israel J. Agric. Res.* **14**. 169—178. 1964.
- [3] GARDNER, W. & KIRKHAM, D.: Determination of soil moisture by neutron scattering. *Soil Sci.* **73**. 391—491. 1952.
- [4] Izotópok alkalmazása a mezőgazdasági kémiában és talajtanban. Szerk.: di Gleria J. Akad. Kiadó. Budapest. 1966.
- [5] STEWART, G. L. & TAYLOR, S. A.: Field experience with the neutron-scattering method of measuring soil moisture. *Soil Sci.* **83**. 151—158. 1957.
- [6] STONE, J. F., KIRKHAM, D. & READ, A. A.: Soil moisture determination by a portable neutron scattering moisture meter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **19**. 419—423. 1955.
- [7] TÖLGYESSY, J.: Magsugárzás a kémiai analízisban. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1965.
- [8] UNDERWOOD, N., VAN BAVEL, C. H. M. & SWANSON, R. W.: A portable slow neutron flux meter for measuring soil moisture. *Soil. Sci.* **77**. 339—342. 1954.
- [9] VAN BAVEL, C. H. M., NIELSEN, D. R. & DAVIDSON, J. M.: Calibration and characteristics of two neutron moisture probes. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **25**. 329—333. 1961.

Érkezett: 1967. december 4.

Soil Moisture Determination by a Neutron Scattering Moisture Meter

I. TÖRÖK

National Institute for Agricultural Quality Testing, Budapest (Hungary)

Summary

In recent years, when isotope techniques have become more and more widely used in general, the neutron scattering method of measuring soil moisture has also been very much employed. The method is based on the phenomenon of neutron scattering. The scattering cross-section of hydrogen, as compared to that of other atoms, is the greatest, thus fast neutrons are scattering on the hydrogen atoms, lose their energy and consequently are slowed down. The rate of slowing down is proportional to the number of hydrogen atoms, that is, to soil moisture.

The device used for the measurements was developed in the Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences. It has a Pu-Be neutron source. The slow neutrons are detected with a silver-plated GM-tube connected to a portable rate-meter.

Soil moisture was measured in the field by the neutron scattering moisture meter and afterwards it was determined also in the laboratory. Soil samples were taken at 10 cm intervals and the moisture contents of the same layers were also measured by lowering the probe into the auger hole. In the course of the measurements it must be ensured that diameter of the auger holes be always the same. On the basis of adequate data the calibration graph was constructed and with its aid the moisture content in volume percentage could be determined from the meter readings. In the course of the measurements we found that the calibration graph of salt affected soils differed from that of not salt affected soils. The number of slow neutrons is less in the case of salt affected soils at the same moisture content. This difference is supposedly caused by the sodium ions capturing neutrons in salt affected soils.

On the basis of the obtained data it can be established that the moisture meter indicates the moisture content with a ± 2.4 per cent accuracy. In the case of 71.5 per cent of the measurements a difference less than 3 per cent was found between the values of the moisture content measured by the moisture meter and in the laboratory, respectively. The greatest difference was 6 per cent. If permanent experiments are conducted

the diminishing of the measuring error may be expected because the measurements will always be carried out under the same conditions.

Completing the neutron scattering moisture meter there is a gamma scattering device — using Co-60 gamma radiating isotope as radiation source — for the determination of volume weight. The two devices have a common basic instrument. Volume weight measurements were carried out at 30 cm depth intervals by lowering the probe into the auger hole and afterwards the volume weights were determined also in the laboratory. The accuracy of data measured with the device was $\pm 0,2 \text{ g/cm}^3$ and the standard deviation of data was rather considerable.

It was established that the neutron scattering moisture meter can be employed for rapid field measurements and that its operation is simple.

Table 1. Comparison of data measured with the neutron scattering moisture meter and in the laboratory. (1) Moisture meter I_m/I_{et} value. (2) Moisture content expressed in volume percentage; measured with the moisture meter and in the laboratory. (3) Deviation, per cent.

Table 2. Volume weight measurements with gamma scattering. (1) Reading imp/sec. (2) Volume weight g/cm^3 with the device — in the laboratory.

Figure 1. Calibration graph of the neutron scattering moisture meter. a) salt affected soil, b) not salt affected soil. Horizontal axis: moisture content in volume percentage.

Figure 2. Frequency of percental deviations.

Figure 3. Calibration graph for the determination of volume weight by means of gamma scattering. Horizontal axis: reading.

Messung der Bodenfeuchtigkeit mit einem Neutronenstreuungsgerät

I. TÖRÖK

Landesinstitut für landwirtschaftliche Qualitätsprüfung, Budapest (Ungarn)

Zusammenfassung

1. An Hand der weitläufigen Anwendung der Isotopentechnik gewinnt in letzter Zeit auch die Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit nach dem Prinzip der Neutronenstreuung an Bedeutung. Da von allen Atomen diejenigen des Hydrogens über den grössten Streuungsdurchmesser verfügen, werden die schnellen Neutronen an den H-Atomen zerstreut, verlieren von ihrer Energie und werden abgebremst. Die Grösse der Abbremsung ist mit der Zahl der H-Atome d. h. mit der Bodenfeuchtigkeit proportionell.

2. Das zur Messung benützte Instrument wurde in dem Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften entwickelt. Es besitzt eine Pu-Be-Neutronenquelle, zur Detektierung der langsamen Neutronen dient eine mit einer Silberplatte gedeckte GM-Röhre, die sich an einen tragbaren Mittelwertmesser anschliesst.

3. Mit dem Instrument wurden Messungen am Standort durchgeführt und die Feuchtigkeit der Bodens wurde auch im Laboratorium bestimmt. Die Bodenproben wurden je 10 cm genommen und die Bodenfeuchtigkeit wurde zugleich mit der in das Bohrloch eingeführten Sonde des Instrumentes gemessen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Durchmesser der einzelnen Bohrlöcher immer gleich sein soll. Als genügend viele Messangaben zur Verfügung standen, wurde die Kalibrationskurve aufgezeichnet, mit Hilfe deren die Bodenfeuchtigkeit in Vol % bestimmt werden kann. Im Laufe der Messungen stellte sich heraus, dass sich die Kalibrationskurve der nicht-alkali Böden zur Bestimmung der Feuchtigkeit von Alkaliböden nicht eignet, und zu diesem Zweck eine andere Kurve aufgenommen werden muss. Die Zahl der abgebremsten Neutronen ist in den Alkaliböden bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt nämlich geringer. Diese Abweichung kann damit erklärt werden, dass die in grösserer Anzahl anwesenden N-Ionen einen Teil der Neutronen einfangen.

4. Aus den Daten wurde bestimmt, dass das Instrument die Bodenfeuchtigkeit mit einem Fehler von $\pm 2,4\%$ angibt. Bei 71,5% aller Daten erhielten wir eine Abweichung unter 3%. Die grösste Abweichung zwischen den mit dem Instrument bzw. in dem Laboratorium gewonnenen Ergebnisse lag bei 6%. Bei fortlaufenden Messreihen ist eine

Herabsetzung der Messfehler anzunehmen, da in solchen Fällen die Umweltbedingungen konstant sind.

5. Das Instrument ist mit einem Gammastreunungsgerät zur Bestimmung des Volumengewichtes ausgerüstet. Das Grundinstrument ist identisch mit dem des Feuchtigkeitsmessers. Als Strahlungsquelle dient das γ -strahlende ^{60}Co -Isotop. Die Messungen wurden mit der in das Bohrloch geleiteten Sonde jede 30 cm durchgeführt und das Volumengewicht wurde parallel auch im Laboratorium bestimmt. Die Ergebnisse der γ -Streuungsmessung wichen um $\pm 0,2 \text{ g/cm}^3$ ab, die Daten hatten eine ziemlich grosse Streuung.

6. Der Neutronenstreuungsfeuchtigkeitsmesser ist zu schnellen Standortbestimmungen geeignet, seine Bedienung ist einfach.

Abb. 1. Kalibrationskurve des Neutronenstreuungsfeuchtigkeitsmessers. a) Alkaliböden; b) nichtalkali Böden. Abszisse: Feuchtigkeitsgehalt in Vol%.

Abb. 2. Häufigkeit der %-Abweichungen.

Abb. 3. Kalibrationskurve zur Bestimmung des Volumengewichtes mit Gammastreunung. Abszisse: Skalenwerte des Instrumentes.

Tab. 1. Vergleich der Feuchtigkeitswerte im Laboratorium und mit Neutronenstreuung gemessen. (1) I_m/I_{et} -Wert des Instrumentes; (2) Feuchtigkeitsgehalt in Vol%, mit dem Instrument, bzw. im Laboratorium gemessen. (3) Abweichungen in %.

Tab. 2. Volumengewichtsmessungen mit Gammastreunung. (1) Stand des Instrumentes, imp/sec; (2) Volumengewicht, g/cm^3 , mit dem Gerät und im Laboratorium gemessen.

Определение влажности почвы нейтронным влагомером

И. ТЁРЁК

Государственный институт по контролю за качеством почв и сельскохозяйственных продуктов, Будапешт (Венгрия)

Резюме

1. В последние годы, в связи с развитием химии и физики изотопов, для определения влажности применяется метод, основанный на рассеивании нейтронов. Быстрые нейтроны, выходя из закрытого источника излучения и столкнувшись с водородными атомами почвы и воды, теряют энергию и замедляют свое движение. Число замедленных, рассеянных нейтронов пропорционально числу водородных атомов, содержащихся в почве, то есть, влажности почвы.

2. Нейтронный влагомер, используемый для измерения влажности, сконструирован в Научно-Исследовательском Институте Почвоведения и Агрохимии Академии Наук Венгрии.

Прибор работает с закрытым источником Рн-Ве. Для измерения отраженных от водородных ионов замедленных нейтронов служит покрытый серебрянной фольгой счетчик Гейгера—Мюллера, подключенный к переносному ратеметру.

3. Измерение влажности проводится в полевых условиях, параллельно с этим определяется влажность и в лаборатории обычными методами.

Образцы почвы на влажность берутся через каждые 10 см и на этих же глубинах определяется влажность нейтронным влагомером, опуская в буровую почвенную скважину измерительный зонд. В процессе измерения необходимо добиваться постоянного диаметра буровой скважины. С помощью калибрационного графика по данным, отсчитываемым на приборе, можно определить влажность почвы в объемных процентах. В ходе измерений установили, что в случае засоленных почв надо использовать калибрационный график, отличающийся от графика, построенного для незасоленных почв. Тот факт, что в засоленных почвах количество медленных нейтронов при одинаковой влажности меньше, чем в других почвах объясняется захватом медленных нейтронов атомами натрия почвы.

4. Из полученных данных следует, что точность определения содержания влаги составляет $\pm 2,4\%$. Для 75,5%-ов от общих измерений получили расхождения меньше, чем 3%. Самое значительное расхождение наблюдалось между показанием прибора и лабораторными определениями, которое составляло около 6%. Снижение ошибки можно ожидать при определении влажности в длительных полевых опытах, где измерение проводится в одних и тех же условиях.

5. При снабжении влагомера специальным приспособлением им можно определять объемный вес почвы на основании гамма-спектроскопии. Основа прибора та же, что и для определения влажности почвы, источником излучения в этом случае служит $\text{Co}-60$ с гамма-лучами. Измерение объемного веса проходит через каждые 30 см при опускании зонда в буровую скважину, параллельно с этим проводятся и лабораторные определения. Точность прибора составляет $\pm 0,2$ г/см³ при значительном расхождении получаемых величин.

6. Нейтронный влагомер служит для быстрого определения влажности почвы и очень легко обслуживается.

Табл. 1. Сравнение результатов, полученных при определении влажности нейтронным влагомером и лабораторными методами. (1) Величина $I_m/I_{et.}$ прибора. (2) Влажность в объемных процентах при определении влагомером и в лаборатории. (3) Процентное расхождение.

Табл. 2. Определение объемного веса методом гамма-спектроскопии. (1) Показание прибора имп/сек. (2) Объемный вес почвы г/см³, определенный прибором и лабораторными методами.

Рис. 1. Калибрационный график к нейтронному влагомеру. а) Для засоленных почв. б) Для незасоленных почв. Горизонтальная ось: влажность в объемных процентах.

Рис. 2. Процентная частота расхождений.

Рис. 3. Калибрационный график для определения объемного веса почвы методом гамма-спектроскопии. Горизонтальная ось: показание прибора.